

УДК 622.031; 622.272.6; 622.831.325

**ОСОБЕННОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
В УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ СВИТЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА**

А. А. Исаченко¹, М. Г. Коряга²

¹ОУК “Южкузбассуголь”, филиал “Шахта “Ерунаковская-VIII”,
E-mail: metall_kuzbass@mail.ru, просп. Курако, 33, 654006, г. Новокузнецк, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,
E-mail: R7080@yandex.ru, ул. Кирова, 42, 654007, г. Новокузнецк, Россия

Исследовано влияние конвергенции кровли и почвы подготовительных горных выработок на их состояние в условиях отработки свит угольных пластов Кузбасса. Выделены горно-геологические и горнотехнические условия, влияющие на деформацию горных выработок. Предложена классификация горных выработок по их расположению относительно отрабатываемого и надрабатываемого угольных пластов в свите. Проведен анализ параметров и установлены этапы деформирования горных пород в виде первичной и вторичной конвергенции пород почвы и кровли подготовительных выработок. Первичная конвергенция наблюдается в расположенных параллельно выработанному пространству подготовительных горных выработках, пройденных в надрабатываемом нижнем слое мощного пласта, при отработке пласта средней мощности и в надрабатываемом пласте в почве выработки. Вторичная конвергенция происходит в подготовительных горных выработках в зоне опорного давления от ранее отработанного выемочного участка.

Горнодобывающие предприятия, конвергенция, поддир почвы, надрабатываемый пласт, горное давление

DOI: 10.15372/FTP/PI20230308

Угольная промышленность России находится на очередном этапе развития [1]. Для предприятий подземной угледобычи характерно ведение горных работ на глубоких горизонтах с одним очистным забоем в условиях влияния комплекса горно-геологических и техногенных факторов. При отработке свит угольных пластов наблюдаются деформационные процессы в подготовительных горных выработках, отличные от классических теорий горного давления [2–5]. Особенности деформационных процессов характеризуются стадийностью их проявления, зависящей от пространственного расположения подготовительных горных выработок относительно выработанных пространств ранее отработанных выемочных участков и действующих очистных забоев.

В зависимости от использования горных выработок в определенный момент времени (стадийности) проявляются первичные и вторичные деформационные процессы контура подготовительной выработки [6–8]. При отработке угольных пластов наблюдаются процессы конвергенции почвы подготовительных горных выработок, существенно влияющие на их проектные параметры и эксплуатационные характеристики [7].

Цель настоящей работы — исследование деформаций подготовительных горных выработок и их интенсивности на различных этапах эксплуатации, что позволит разработать технические решения по безопасному безремонтному поддержанию выработок на всем сроке эксплуатации.

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ ПОЧВЫ И КРОВЛИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Анализ работы выемочных участков на шахтах юга Кузбасса показывает существенное различие горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений каменного угля подземным способом. При разработке проектных решений по отработке угольных пластов необходимо учитывать взаимное влияние элементов геомассива и горных работ на отработываемом и смежном пластах [9].

В [10] установлено, что на безопасное поддержание подготовительных горных выработок большое влияние оказывает пространственное расположение угольных пластов и выемочных участков в наработанном массиве. Особое значение имеет расположение в почве подготовительных горных выработок угольного пласта. Это может быть как отдельный угольный пласт, который является наработываемым угольным пластом относительно отработываемого, так и мощный угольный пласт при проведении горной выработки по верхнему слою (рис. 1).

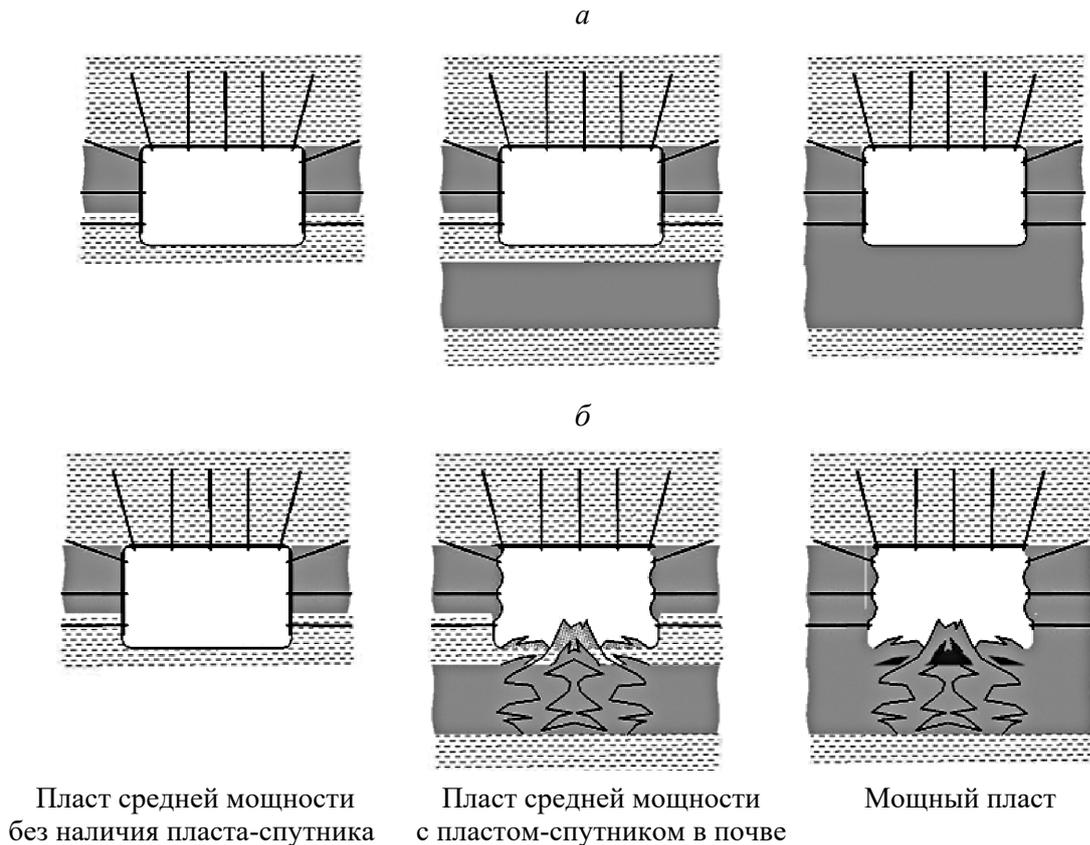


Рис. 1. Состояние вентиляционного штрека до и после проявления деформационных процессов в различных горно-геологических условиях: *a* — проектные параметры подготовительной горной выработки; *б* — фактическое состояние горной выработки в процессе эксплуатации

Для разработки технических решений по безопасным методам поддержания подготовительных горных выработок предлагается ввести их классификацию по признаку расположения относительно отработываемого и наработываемого угольного пласта в свите:

- отработка одиночного пласта средней мощности;
- отработка угольного пласта средней мощности в свите сближенных угольных пластов;
- отработка верхнего слоя мощного пласта.

Такую классификацию подтверждают фактические деформационные процессы подготовительных выработок на разных угледобывающих предприятиях [11]. При отработке пласта средней мощности без надрабатываемого пласта-спутника распределение горного давления и деформационные процессы зависят от комплекса факторов: глубины ведения горных работ, характеристики вмещающих горных пород и др. При отработке пласта средней мощности при наличии надрабатываемого угольного пласта-спутника или при отработке верхнего слоя мощного пласта, когда в почве горной выработки находится нижняя пачка угольного пласта, для прогнозирования деформационных процессов необходим дополнительный учет мощности и расположения обрабатываемого пласта в свите.

Деформации подготовительных горных выработок относительно первоначального сечения в основном происходят по следующим причинам:

- несоответствие параметров подготовительной горной выработки (пространственное расположение относительно угольного пласта, отношение ширины и высоты выработки, вид крепления) горно-геологическим условиям и характеристике вмещающих горных пород;
- отслоение пород кровли и боков вмещающих пород, вызванное структурным ослаблением связей в структуре угля и породы вследствие непрогнозируемого горного давления (зоны геологических нарушений, техногенного повышенного горного давления и пр.);
- конвергенция (пучение) почвы выработки при наличии угля и пород с меньшими прочностными характеристиками, чем кровля выработки.

В [8, 11] установлено, что при эксплуатации подготовительных выработок, оконтуривающих выемочные участки, деформационные процессы происходят неравномерно. Это зависит от пространственного расположения подготовительных горных выработок относительно надрабатываемого угольного пласта средней мощности или угольной пачки мощного пласта и зон влияния действующих или завершившихся очистных работ.

Повышенной деформации подвержены выработки в зоне опорного давления очистного забоя (конвейерный и вентиляционный штрек, разрезные печи). Согласно [3], основные деформационные процессы происходят в кровле выработок. Однако при наличии дополнительного влияния на геомеханическое состояние породного массива в окрестности выработок надрабатываемого угольного пласта или угольной пачки мощного пласта деформационные процессы изменяются. Они проявляются в виде конвергенции почвы и кровли подготовительных горных выработок.

Задачами исследований, представленных в статье, являются:

- определение характера влияния очистных работ и элементов геомассива на поддержание подготовительных горных выработок;
- установление изменения конвергенции горных выработок на различных этапах их эксплуатации в условиях отработки в свите угольных пластов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Натурные данные для рассмотрения этапности деформационных процессов в районах расположения вентиляционных штреков получены в процессе отработки семи выемочных участков с 2013 по 2023 г. Деформационные процессы изучались на различных этапах эксплуатации подготовительных горных выработок одного из угледобывающих предприятий Ерунаковского гео-

лого-экономического района Кузбасса. Геологическая характеристика участка и применяемые технические решения по подготовке и отработке месторождения характерны для многих предприятий угледобычи Кузбасса [12–14].

Свита исследуемого участка включает 24 угольных пласта. Вмещающие породы свиты представлены песчаниками, алевролиты имеют подчиненное значение. Большинство из них обладают хорошо выдержанной рабочей мощностью 0.70–5.00 м. Добыча угля осуществляется в пласте 48 средней мощности 1.84–2.65 м. Проектная мощность шахты 3000 тыс. т угля в год. Принята система разработки длинными столбами по простиранию с управлением кровлей полным обрушением (ДСО).

Для оконтуривания выемочного столба проводится комплекс подготовительных горных выработок: вентиляционный штрек, конвейерный штрек, вентиляционный штрек нижележащего выемочного столба, разрезные печи, монтажная камера и технологические сбойки с предварительной проходкой центральных и фланговых стволов до нижней точки подготавливаемого выемочного столба (рис. 2).

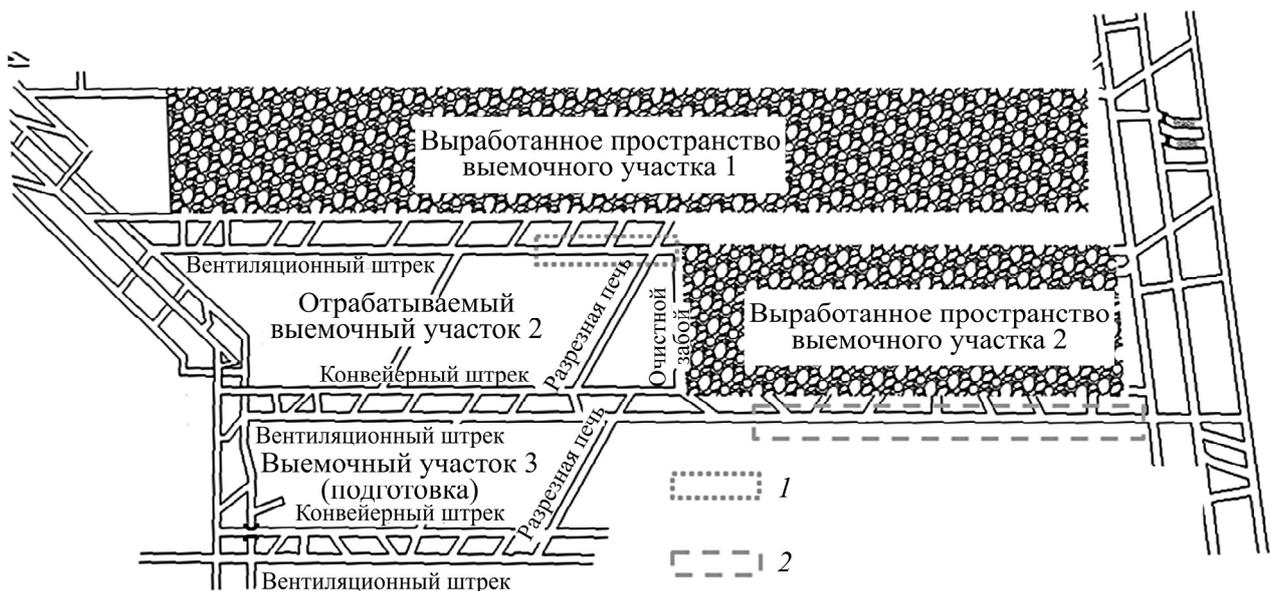


Рис. 2. Зоны первичных и вторичных деформационных процессов при подготовке и отработке выемочных столбов: 1 — конvergенция в зоне очистного забоя отрабатываемого выемочного столба; 2 — конvergенция в зоне выработанного пространства ранее отрабатываемого выемочного столба

Для подготовительных работ используются проходческие комбайны: КП-21, JOY-12СМ30, JOY-12СМ15В, EBZ160, EBZ260. Сечение штреков составляет 18.2 м², монтажной камеры — 21 м², разрезных печей и сбоек — 14 м². Крепление всех выработок анкерное, анкеры основной крепи 2.5–3.0 м, с шагом 1.0–1.2 м, в качестве опорных элементов применяются металлические шайбы 250×250 или 300×300 мм, ограждение — металлическая решетчатая затяжка. Количество анкеров по кровле 5–8, в боках — 6. При необходимости применяется усиление крепления выработки канатными анкерами типа АК-01 длиной до 7.5 м. Окончательный вариант крепления определяется на основании расчета для конкретных горно-геологических условий. Проведение подготовительных выработок при оконтуривании выемочных столбов (вентиляционных и конвейерных штреков) осуществляется спаренными забоями.

Данная технологическая схема является классической [2, 3]. При этом конвейерный штрек необходим для отработки выемочного участка 1, а вентиляционный штрек — для выемочного участка 2. Разрезные печи, монтажные камеры, сбойки проводятся одиночными выработками.

Срок эксплуатации конвейерного штрека ограничен сроками проведения горной выработки и временем отработки выемочного столба. Эксплуатация вентиляционного штрека включает:

- время проведения выработки;
- период отработки вышележащего выемочного участка в качестве выработки для расположения вентиляционных и дегазационных коммуникаций, запасного выхода и пр.;
- период отработки выемочного участка в качестве вентиляционного штрека по своему назначению.

На подготовительные горные выработки, расположенные параллельно выработанному пространству и находящиеся под защитой межштрекового целика, дополнительно оказывает влияние опорное давление от ранее отработанного выемочного участка. Дополнительное воздействие горного давления в условиях отработки угольного пласта с осложняющими геологическими факторами в виде надрабатываемого угольного пласта или нижней части пласта изучено недостаточно. Такие выработки (вентиляционные штреки) подвержены поэтапному воздействию горно-геологических факторов природного и техногенного происхождения, оказывающих существенное влияние на их безопасное состояние. Для изучения деформационных процессов на различных этапах эксплуатации подготовительных горных выработок необходимо рассмотреть влияние надрабатываемых угольных пластов.

При подготовке и отработке исследуемого участка выполнены визуальные и инструментальные наблюдения на пяти выемочных столбах протяженностью около 3 км каждый. Определялись характерные места для комплексного анализа геомеханических процессов — участки сопряжений разрезных печей с вентиляционными штреками. В каждом выемочном участке имелись две или три разрезные печи. Для наблюдения за деформационными процессами устанавливались реперные станции (рис. 3).

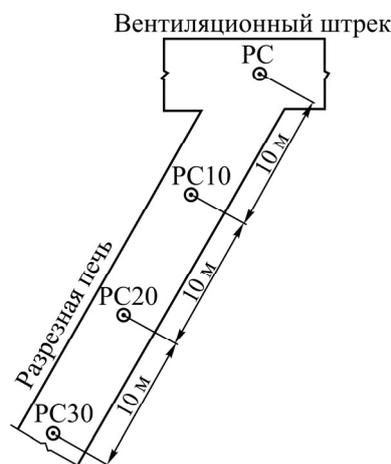


Рис. 3. Расположение реперных станций (РС) в горных выработках

Замерные станции оборудовались двух типов: установка измерительной стойки и установка реперов в контуре выработки. Основная реперная станция размещалась на сопряжении вентиляционного штрека с разрезной печью. Дополнительные — в 10, 20, 30 м от сопряжения разрезной печи с вентиляционным штреком. Показаниями основной реперной станции оценивалось геомеханическое и геодинамическое состояния штрека, а дополнительных — параметры деформаций в краевой части выемочного столба. Всего установлено 52 реперных станции.

Снятие данных (высоты выработки) осуществлялось в четыре этапа: при проведении и отработке вышележащего выемочного столба, после мероприятий по увеличению высоты выработки (поддира почвы), перед подъездом очистного забоя (в зоне опорного давления).

Полученные данные в ходе инструментальных наблюдений заносились в таблицу (ее фрагмент представлен ниже). Фиксировались данные о высоте выработки в месте замерной станции, параметры деформации на различных этапах эксплуатации (первичная и вторичная конвергенция), высота выработки в местах поддира почвы, общая конвергенция за весь период наблюдения, глубина ведения горных работ. Срок наблюдения за одной группой замерных станций около 2.5 лет.

Деформационные процессы в вентиляционных штреках выемочного участка 48-4, м

Место замера	Высота выработки в зоне влияния очистного забоя отработываемого выемочного				Увеличение высоты выработки при зачистке почвы	Смещение пород кровля/почва при конвергенции	
	при проведении работ	до поддира почвы (первичная конвергенция)	после поддира штрека	в 5–50 м от очистного забоя (вторичная конвергенция)		первичная	вторичная
Разрезная печь 48-4-2							
	Начало наблюдений: февраль 2014 г.				Завершение наблюдений: февраль 2016 г.		
Сопряжение с вентиляционным штреком	3.55	2.10	3.12	1.86	1.02	1.45	1.26
10 м от сопряжения	3.40	2.13	2.40	1.60	0.27	1.27	0.80
20 м >>	3.21	2.50	2.50	1.81	0.00	0.71	0.69
30 м >>	3.25	3.24	3.24	2.50	0.00	0.01	0.74
Разрезная печь 48-4-1							
	Начало наблюдений: октябрь 2014 г.				Завершение наблюдений: июнь 2016 г.		
Сопряжение с вентиляционным штреком	3.20	2.13	2.94	1.60	0.81	1.07	1.34
10 м от сопряжения	3.30	2.21	2.80	1.50	0.59	1.09	1.30
20 м >>	3.30	2.53	2.53	1.80	0.00	0.77	0.73
30 м >>	3.30	2.78	2.89	2.20	0.11	0.52	0.69
Среднее значение наблюдений							
Сопряжение с вентиляционным штреком	3.49	2.27	3.12	1.70	0.85	1.22	1.43
10 м от сопряжения	3.27	2.60	2.76	1.85	0.16	0.67	0.92
20 м >>	3.28	2.74	2.77	2.18	0.03	0.54	0.59
30 м >>	3.29	2.91	2.94	2.35	0.03	0.38	0.59

Расположение замерных станций в разрезных печах позволило инструментально подтвердить зону деформации в теле выемочного участка от дополнительных элементов влияния на вентиляционный штрек (ранее отработанный выемочный участок и наличие надрабатываемого угольного пласта). Смещения вентиляционных штреков представляют собой неравномерное поднятие почвы с максимальной высотой преимущественно в центре выработки, обычно с разрывом сплошности (трещины до 10 см). При расположении в горной выработке оборудования и податливой крепи усиления почвы максимум поднятия почвы смещается в сторону. Состояние кровли выработки контролировалось реперными станциями с шагом установки 40 м. Деформаций и расслоений сплошности пород кровли выработок на участках не наблюда-

лось. Расположение замерных станций в разрезных печах позволило инструментально подтвердить зону деформации в теле выемочного участка от дополнительных элементов влияния на вентиляционный штрек.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инструментальные наблюдения подтвердили предположение о стадийности (этапности) проявления конвергенции вентиляционных штреков. Прослеживается два этапа конвергенции.

Первичная конвергенция проявляется в виде деформации почвы выработки от воздействия опорного давления, создаваемого выработанным пространством ранее отрабатываемого выемочного столба.

Среднее значение уменьшения высоты вентиляционного штрека при первичной конвергенции составляет 34.9 % (3.49 – 2.27 м). После деформации почвы выработки (рис. 1) проведены мероприятия по увеличению ее высоты. Применялась технология поддира почвы выработки с восстановлением параметров выработки до проектных значений. Выемка почвы выработки осуществлялась штрекоподдирочной машиной типа DHL1200 или проходческим комбайном с отгрузкой горной массы на скребковый конвейер [8]. Средняя высота выработки была увеличена до 3.12 м и составила 89.4 % от первоначальной высоты. Без применения технологии поддира почвы вентиляционного штрека уменьшение высоты выработки составляет 75.8 % (до 0.85 м). Это не обеспечивает необходимый технологический зазор для продолжения эксплуатации очистного забоя.

Вторичная конвергенция — это деформация почвы выработок в зоне опорного давления очистного забоя выемочного участка и выработанного пространства ранее отработанного выемочного участка (рис. 2). Наблюдается значительная деформация выработки, выраженная в конвергенции почвы вентиляционного штрека. Уменьшение высоты за период наблюдений составило 45.7 % (3.12 – 1.70 м).

Как при первичной, так и при вторичной конвергенции необходимо уменьшить негативное воздействие деформаций горных выработок, поддерживать безопасное состояние. Для уменьшения негативного воздействия при вторичной конвергенции применялась технология увеличения высоты выработки скреперной лебедкой. Скреперная лебедка типа 17ЛС20 включалась в состав механизированного комплекса и устанавливалась над концевой станцией лавного конвейера под штрековыми секциями (рис. 3). В период планово-предупредительного ремонта проводился поддир почвы вентиляционного штрека на расстояние до 50 м с отгрузкой горной массы на лавный конвейер. Ежедневные мероприятия по поддиру почвы выработки позволили сформировать впереди очистного забоя зону, обеспечивающую требуемую для безопасной эксплуатации очистного забоя высоту вентиляционного штрека.

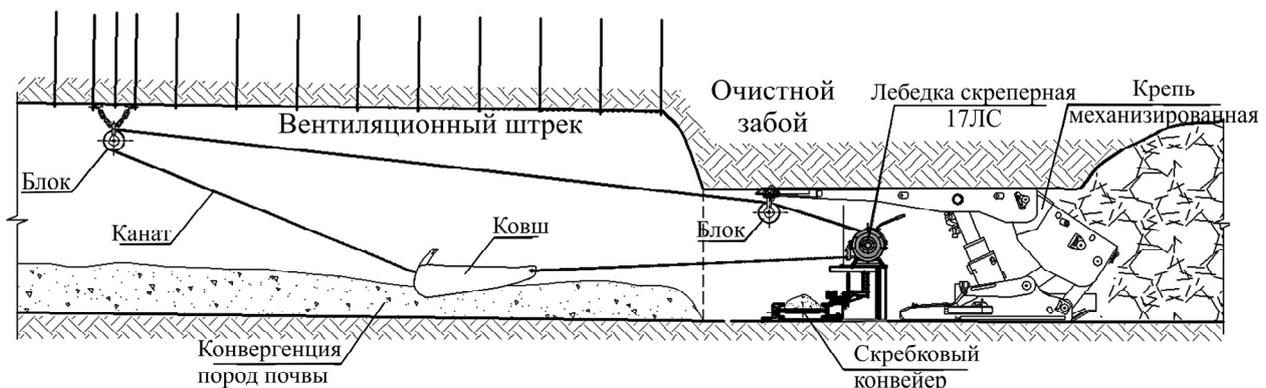


Рис. 4. Технология ликвидации негативных последствий вторичной конвергенции почвы вентиляционного штрека

ВЫВОДЫ

Установлена этапность процессов деформирования подготовительных горных выработок в условиях отработки свиты угольных пластов: первичная и вторичная конвергенция. Определены параметры уменьшения высоты подготовительных выработок при отработке пласта 48 Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса: при первичной конвергенции на 34.9%, при вторичной — на 45.7%. Разработаны технические решения по снижению негативных последствий первичной и вторичной конвергенции. Применение технологии механизированного поддира деформированной породы почвы выработок обеспечивает восстановление сечения выработки на уровне 89.4%.

Рассмотрено влияние деформационных процессов на краевую часть выемочного столба. Высота разрезной печи в зоне влияния очистного забоя обрабатываемого выемочного участка (в 5–50 м от забоя) от сопряжения вентиляционного штрека с разрезной печью увеличивается. Конвергенция разрезной печи на расстоянии 30 м от сопряжения без учета мероприятий по увеличению высоты составляет не более 29.5% (2.3 м), что обеспечивает возможность безремонтного состояния разрезных печей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Апалькова Т. Г., Левченко К. Г.** Основные тенденции мирового рынка угля в краткосрочной перспективе // Уголь. — 2022. — № 11 (1160). — С. 32–37.
2. **Ванякин О. В.** Обоснование параметров технологических схем отработки сближенных пологих угольных пластов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет “Горный”, 2016. — 20 с.
3. **Разработка** весьма сближенных пластов на шахтах Кузбасса / П. В. Егоров, Б. В. Красильников, С. И. Калинин, В. Н. Замышляев. — Прокопьевск: КузНИУИ, 1992. — 286 с.
4. **Протодьяконов М. М.** Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. I. — М.: ГИЗ, 1931. — 104 с.
5. **Якоби О.** Практика управления горным давлением. — М.: Недра, 1987. — 566 с.
6. **О влиянии** ширины выработанного пространства лавы на конвергенцию пород в подготовительной выработке / О. В. Князьков, В. Д. Рябичев, Ю. Н. Спичак, Н. Н. Палейчук // Сб. науч. тр. ДонГТУ. — 2021. — № 22 (65). — С. 16–20.
7. **Тормышева О. А., Деев П. В., Моница О. С., Фомин А. В.** Определение параметров сейсмического воздействия на основе измерения конвергенций точек контура выработки // Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы XVIII Междунар. молодежной науч.-практ. конф. 28–30 августа 2017 г. — Новочеркасск: ООО “Лик”, 2017. — С. 48–50.
8. **Курленя М. В., Миренков В. Е.** Оценка деформирования угольного пласта с выработкой на основе идентификации параметров обрушения пород кровли // ФТПРПИ. — 2020. — № 4. — С. 3–10.
9. **Исаченко А. А., Петрова О. А.** Анализ влияния изменчивости горно-геологических и горнотехнических параметров на форму и размеры блоков панелей и выемочных столбов в пределах шахтных полей // Вестн. СибГИУ. — 2016. — № 3. — С. 15–18.
10. **Исаченко А. А., Петрова Т. В.** Оценка эффективности способов предотвращения пучения пород почвы штреков при отработке свиты весьма сближенных угольных пластов // Природные и интеллектуальные

ресурсы Сибири. Сибресурс 2016: Материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. 23–24 ноября 2016 г. — Кемерово: КузГТУ, 2016.

11. **Исаченко А. А.** Геомеханическое обоснование способов управления горным давлением при подземной разработке весьма сближенных угольных пластов: дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово, 2018. — 149 с.
12. **Казанин О. И., Сидоренко А. А., Ермаков А. Ю., Ванякин О. В.** Обоснование параметров подготовки выемочных участков при отработке свит пластов длинными забоями // ГИАБ. — 2014. — № 3. — С. 3–12.
13. **Лазаревич Т. И., Мазикин В. П., Малый И. А., Ковалев В. А., Поляков А. Н., Харкевич А. С., Шабаров А. Н.** Геодинамическое районирование Южного Кузбасса. — Кемерово: Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела — межотраслевой научный центр ВНИМИ, 2006. — 181 с.
14. **Быкадоров А. И., Ларичкин П. М., Свирко С. В.** Геотехнические аспекты проектирования и разработки угольных месторождений комбинированным (открыто-подземным) способом // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 5–6. — С. 82–92.

Поступила в редакцию 06/IV 2023

После доработки 16/V 2023

Принята к публикации 18/V 2023